

Abstract of JP5142607

PURPOSE: To convert high order harmonics of a laser beam with high efficiency by using nonlinear optical crystals. CONSTITUTION: A light wavelength conversion device is constituted by arranging the plural nonlinear optical crystals 1 and 3 at the position where incident light passes in stages, arranging the crystal azimuth axes of the respective nonlinear optical crystals 1 and 3 in the traveling order of the laser beam 2 at positions which shift by an angle less than a half and the overall width of a phase matching angle, and holding the nonlinear optical crystals 1 and 3 by a fixing jig so that they do not shift in relative position; and the fixing jig is varied in angle to the laser beam 2 through external operation. Consequently, a higher-harmonic conversion efficiency of the light wavelength converting element is increased and a phase matching angle range and a phase matching temperature range are also increased.

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-142607

(43)公開日 平成5年(1993)6月11日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

府内整理番号

F I

技術表示箇所

G 02 F 1/37

7246-2K

審査請求 未請求 請求項の数3(全8頁)

(21)出願番号 特願平3-304387

(22)出願日 平成3年(1991)11月20日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 栗山 勝裕

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 中井 出

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 岡田 俊治

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74)代理人 弁理士 小鍛治 明 (外2名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光高調波発生装置

(57)【要約】

【目的】非線形光学結晶を用いて、レーザビームの高次高調波を高効率で変換する。

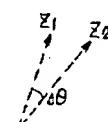
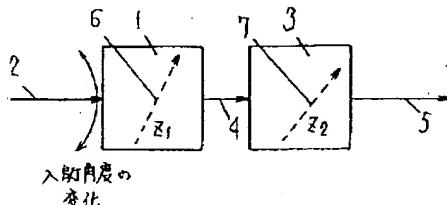
【構成】複数の非線形光学結晶を入射光が多段に通過する位置に配置し、それぞれの非線形光学結晶の結晶方位軸どうしが、位相整合角度の半値全幅以下の角度だけずらした位置でレーザビームの進行方向順に並べ、各々の非線形光学結晶の相対位置が変化しないように固定治具にて保持し、固定治具をレーザビームに対して外部からの操作により角度変化させる構成を特徴とする光波長変換装置。

【効果】光波長変換素子の高調波の変換効率を増大させるとともに、位相整合角度範囲ならびに位相整合温度範囲をも増大させる。

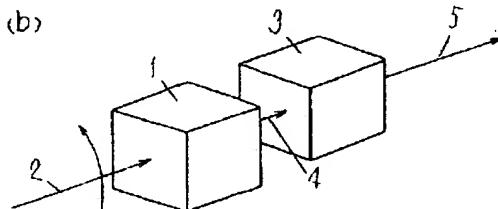
1,3---非線形光学結晶

2---レーザビーム

(a)



(b)



I

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の非線形光学結晶（光波長変換素子）を、レーザビームの基本波光がそれぞれ順次に通過する位置に配置するとともに、それぞれの非線形光学結晶の結晶方位軸どうしの角度をずらした位置に配置してなる光高調波発生装置。

【請求項2】複数の非線形光学結晶の結晶軸の相対位置が変化しないように固定治具にて保持し、固定治具をレーザビームに対して外部からの操作により角度変化可能としたことを特徴とする請求項1記載の光高調波発生装置。

【請求項3】複数の非線形光学結晶の周囲に温度制御をした媒体を流すことにより、非線形光学結晶の温度が制御できることを特徴とする請求項1記載の光高調波発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、非線形光学結晶を用いて、レーザビームの高次高調波を高効率で変換・発生させる光高調波発生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、レーザビームを高次の高調波に変換して波長を短くすることにより、集光度を上げて高密度の計測、微細加工への応用、さらに、被加工物の吸収特性に合わせて波長を選択し、加工する方法が行われてきている。

【0003】以下に従来の非線形光学結晶を用いた光高調波発生方法について説明する。図5は、従来の単一の非線形光学結晶を用いた光高調波発生装置の概略構成の一例を示し、図5aは平面図、図5bは斜視図である。同図において、18は非線形光学結晶、19は入射レーザビームであり、20は非線形光学結晶18を通過後のレーザビームである。レーザビーム20は、基本波光と第二高調波光の混合レーザビームとなり、結晶の方位軸が入射レーザビームの方向に位相整合するように設置する場合に、第二高調波光への大きな変換効率が得られる。21は非線形光学結晶18の結晶のZ軸である。

【0004】ところで、この位相整合条件は角度および温度により変化し、特に角度に対しては、レーザビーム19のZ軸21を含む平面内での入射角度とZ軸21との角度差によって変換効率が大きく変化する。図2aは、一定の温度での非線形光学結晶に入射するレーザビームの角度に対する第二光高調波光の変換効率を示したもの、つまり位相整合角度範囲を示したものである。図2aにおいて、横軸は非線形光学結晶1に入射するレーザビームのZ軸21に対する角度を示し、縦軸は第二高調波光の変換効率を示したものである。図2aにおいて最大変換効率は25%で、最大変換効率になる角度が位相整合角度（縦実線8で示す）であり、位相整合角度

お、最大変換効率の半分の効率（12.5%）の横実線9と変換効率の曲線との交点をAおよびBとする場合、A-B間の長さ（角度範囲）を位相整合角度の半値全幅と一般に定義されている。

【0005】さらに、非線形光学結晶に入射するレーザビームの角度を位相整合角度に合わせて一定とした場合の、温度変化に対する第二高調波光の変換効率を示したもの、つまり位相整合温度範囲についても、図2aのような曲線を描く。（但し、この場合、横軸の単位は温度となる。）

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のような単一の非線形光学結晶を用いて、例えば、ノンクリティカル位相整合により高調波発生を行なった場合、位相整合角度範囲（半値全幅）は、数mrad·cm~十数mrad·cmと小さいために、非線形光学結晶がレーザビームを吸収して発熱し非線形光学結晶が歪んだり、外部からの振動などにより位相整合角度がずれた場合に、変換効率が小さくなる。この対策として、高調波の出力を検知して非線形光学結晶の角度を駆動制御する装置を用いる方法がとられているが、例えば、最大の変換効率を維持するためには1/10mrad程度の高精度の角度制御の装置および高調波の出力検知機が必要となる問題があった。

【0007】さらに、クリティカル位相整合により高調波発生を行なった場合、位相整合角度範囲（半値全幅）は、数十mrad·cm^{1/2}とノンクリティカル位相整合に比べて大きくなるが、1/10℃程度の高精度の温度制御が必要となる問題があった。

【0008】本発明は上記問題に鑑み、複数の非線形光学結晶を用いて、光波長変換素子の高調波の変換効率を増大させるとともに、位相整合角度範囲ならびに位相整合温度範囲をも増大させることができる光高調波発生方法を提供する装置である。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため本発明の波長変換装置は、複数の非線形光学結晶を、レーザビームの基本波光がそれぞれ順次に通過する位置に配設するとともに前記非線形光学結晶の結晶方位軸どうしが、位相整合角度の半値全幅以下の角度だけずらした位置に設置する手段を備えたことを特徴とする。

【0010】

【作用】本発明は上記のように構成した装置によって、光波長変換素子の高調波の変換効率を増大させるとともに、位相整合角度範囲ならびに位相整合温度範囲をも増大させることができる。

【0011】

【実施例】

（実施例1）以下、本発明の一実施例における、高調波発生装置を使用した第二高調波光発生方法について、図

【0012】図1は、非線形光学結晶としてDKDP結晶タイプIのクリティカル位相整合方法によって第二高調波光の発生を行なう場合の構成を示し、図1aは平面図、図1bは斜視図を表わす。図1において、1および3は非線形光学結晶DKDP結晶タイプIで、レーザビームの通過方向の長さが同じものとする。また、6、7は非線形光学結晶1および3のそれぞれ結晶のZ軸を表わしZ1、Z2とする。

【0013】まず、非線形光学結晶1は入射レーザビーム2に対して位相整合の結晶方位軸を一致させている。入射レーザビーム2が非線形光学結晶1を通過した後、再び非線形光学結晶3に入射するが、非線形光学結晶3は位相整合の結晶方位軸を非線形光学結晶1に対して、位相整合角度の半値全幅以下の角度だけずらした位置に設置する。非線形光学結晶1に入射されたレーザビーム2は、一部が第二高調波光となって基本波光と第二高調波光との混合のレーザビーム5となり、入射レーザビーム2と同方向に進む。非線形光学結晶1での、角度に対する変換効率を図2aに示すものとし、最大変換効率を*

$$\eta = C \frac{\omega^2 \times d^2}{n_1^2 \times n_2^2} I^2 \times L^2 \frac{\sin^2(\Delta K \cdot L/2)}{(\Delta K \cdot L/2)^2}$$

η	第二高調波光変換効率
C	定数
ω	基本波光の振動数
d	非線形光学定数
I	基本波光のレーザービーム強度
L	非線形光学結晶のレーザービームの通過方向の長さ
n^1	基本波光の非線形光学結晶に対する屈折率
n^2	第二高調波光の非線形光学結晶に対する屈折率
ΔK	非線形分極波の波数と第二高長波の波数との差

【0016】変換効率は低い場合に基本波光のレーザービーム強度(I [W/cm²])の2乗に比例し、非線形光学結晶1に入射するレーザビーム2のエネルギーと、非線形光学結晶1を通過後のレーザビーム5の基本波光と第二高調波光のエネルギーとの和と、および、レーザビーム6の基本波光と第二高調波光のエネルギーとの和とが等しいものと仮定している。

【0017】図2cは同様に、前記仮定のもとに非線形光学結晶1の最大変換効率が25%の場合の、非線形光学結晶1の結晶軸Z1と非線形光学結晶3の結晶軸Z2との結晶軸の角度のずれ $\Delta\theta$ が、半値全幅0.5(半値半幅)倍の場合を示したものである。結晶軸角度を位相整合角度の半値全幅の0.7倍の角度だけずらした位置

* 25%とする。

【0014】次に、基本波光と第二高調波光との混合のレーザビーム5が非線形光学結晶3に入射する場合、第二高調波光成分は変化することなく非線形光学結晶3を透過し、基本波光の成分は第二高調波光に一部変換されて、レーザビーム6となる。ここで、非線形光学結晶3は位相整合の結晶方位軸が非線形光学結晶1に対して、位相整合角度の半値全幅の0.7倍(図1中のZ1とZ2との角度の差 $\Delta\theta$)の角度だけずらした位置に設置したものとする。この2つの結晶に対して入射レーザビーム2の角度が変化した場合の、角度変化に対するレーザビーム6の第二高調波光の割合、すなわち非線形光学結晶1および2の総合の変換効率を図2bに示す。図2bよりわかるように、位相整合角度の半値全幅は非線形光学結晶が1つの場合に対して約1.6倍と広くなり、また、変換効率のピークも広がる。ただし、図2bは、数1により求めた値であり、

【0015】

【数1】

は大きくなっているが位相整合角度範囲は小さくなる。この傾向は非線形光学結晶の結晶軸の角度のずれが小さくなるにつれて顕著になる。

【0018】非線形光学結晶が長く変換効率が大きい(数十%)場合には、変換効率は基本波光のレーザビーム強度(I [W/cm²])の平方根に比例する。この場合、非線形光学結晶3による変換効率は数1による変換効率よりも大きくなるため、図2bおよびcのグラフの曲線は数1の仮定によるものよりもさらに大きくなる。

【0019】いずれの場合でも、非線形光学結晶が1つの場合に比べて位相整合する角度の範囲が広くなっている。さらに、本実施例1では非線形光学結晶としてDKDP結晶タイプIのクリティカル位相整合方法によって

なる種類の非線形光学結晶のタイプIのノンクリティカル位相整合方法による場合でも図2 b, cのような効果が得られ、タイプIIのノンクリティカル位相整合方法による場合でも従来法のような非線形光学結晶1つの場合に比べて変換効率が大きくなっている。さらに、位相整合する温度の範囲も同様曲線を描いて広くなる。

【0020】(実施例2)以下、本発明の第2の実施例における、高調波発生装置を使用した第二高調波光発生方法について、図面を参照しながら説明する。

【0021】図2 dは本発明の第1の実施例1の同様の仮定のもとに、非線形光学結晶1の最大変換効率が25%の場合の、非線形光学結晶1の最大変換効率が25%の場合の、非線形光学結晶1の結晶軸Z1と非線形光学結晶3の結晶軸Z2との結晶軸との角度のずれ $\Delta\theta$ が、半値全幅の場合を示したものである。結晶軸角度を位相整合角度の半値全幅の0.7倍の角度だけずらした位置に設置した場合の図2 aと比較して、変換効率の最大値は小さくなり、また、2つの角度で変換効率は大きくその間では小さくなる。非線形光学結晶どうしの結晶軸の角度のずれを半値全幅より大きくすると、変換効率が大きくなる角度どうしがさらに離れるため、本発明におけるような、変換効率を増大させるとともに位相整合角度範囲ならびに位相整合温度範囲をも増大させる効果が達成できない。

【0022】(実施例3)以下、本発明の第3の実施例における、高調波発生装置を使用した第二高調波光発生方法について、図面を参照しながら説明する。

【0023】図3は、本発明の第1の実施例1における非線形光学結晶1および3を、入射レーザビーム2に対する相対位置つまり $\Delta\theta$ が変化しないように固定治具10にて保持したものである。さらに、固定治具は入射レーザビーム2に対して外部からの操作により角度変化させる構造となっている。実施例1においては、非線形光学結晶1および3を固定しレーザビーム2の非線形光学結晶1に対する入射角度を変化させた場合の、位相整合する角度の範囲ならびに位相整合する温度の範囲を広くできることを証明した。本実施例3においては、入射レーザビーム2の方向を一定とし固定治具11のレーザビーム2に対する角度を変化させる構造により、実施例1の図2 b, cおよび実施例2の図2 dに示すグラフと同様の効果が生まれる。

【0024】この構成によると、複数の非線形光学結晶の結晶軸を所定の角度だけあらかじめずらした状態で固定治具に相対位置が変化しないように設置しておくことにより、レーザビームの第二高調波を発生するに当たり、固定治具の調整のみで変換効率を調節できるため、変換効率の制御が簡単になる。

【0025】また、非線形光学結晶の結晶軸の角度のずれは数mrad～数十mradと小さいが、結晶の加工精度で調

【0026】また、各非線形光学結晶が固定治具に対して移動しないものとしたが、固定治具に対して移動量を調節し固定できるものでも良い。

【0027】(実施例4)以下、本発明の第4の実施例における高調波発生装置を使用した第二高調波光発生方法について、図面を参照しながら説明する。

【0028】図4は、本発明の第4の実施例4における、固定治具10に改良を加えた固定治具11に固定された非線形光学結晶1および3の周囲に温度制御をした媒体(液体もしくは気体)12を流すことにより、非線形光学結晶の温度を制御する構成を示したものである。図4において、13および14は基本波光および第二高調波光に対して透明かつ反射防止膜を施した窓である。図4において、非線形光学結晶1は入射レーザビーム2に対して位相整合の結晶方位軸を一致させている。入射レーザビーム2が非線形光学結晶1を通過した後、再び非線形光学結晶3に入射するが、非線形光学結晶3は位相整合の結晶方位軸を非線形光学結晶1に対して、位相整合角度の半値全幅以下の角度だけずらした位置に設置している。窓13および窓14は固定治具11に固定され、接続部は媒体12が漏れることのないように密着させており、レーザビーム2の入射側より窓13、非線形光学結晶1、非線形光学結晶3、窓14の順に並びそれぞれの間に温度制御した媒体が流れるように隙間が設けてある。媒体は、加熱・冷却装置15により温度制御され、固定治具11の内部と循環できるように配管16, 17にて接続されている。一定温度に保たれた媒体を非線形光学結晶1, 3の周囲に絶えず流すことにより、非線形光学結晶の温度を一定にさせることができ、安定な第二高調波光の変換効率が得られる。特に、本発明の第4の実施例4の場合のように非線形光学結晶が温度上昇する場合には、媒体の循環量および流速を大きくすることにより、温度上昇を小さくし第二高調波光の変換効率の劣化を防ぐ効果がある。

【0029】

【発明の効果】本発明は上記のように構成した装置によって、光波長変換素子通過後の出射レーザビーム中の第二高調波光に変換されなかった基本波光を再度同一の光波長変換素子に通過させて第二高調波光に変換するため、入射レーザビームのエネルギーに対する第二高調波光の変換効率を大きくすることができ、さらに、位相整合する角度範囲ならびに温度範囲を広くすることにより、安定な変換効率を維持できる。

【0030】また、実施例1～4において、非線形光学結晶としてタイプIのクリティカル位相整合を使用したが、非線形光学結晶としてタイプIのノンクリティカル位相整合を、さらにはタイプIIのノンクリティカル位相整合によって第二高調波光を発生する他の非線形光学結晶を使用しても同様の効果が得られる。

【図1】本発明における非線形光学結晶2個を用いて第二高調波光の発生を行なう場合の構成図

【図2】(a) 本発明の実施例1～5もしくは従来の実施例における、単一の非線形光学結晶の位相整合角度範囲のグラフ

(b)～(d) 本発明の実施例における、2つの非線形光学結晶を用いた場合の位相整合角度範囲のグラフ

【図3】本発明における非線形光学結晶2個を固定治具にて保持し、固定治具をレーザビームに対して外部からの操作により角度変化させる場合の構成図

【図4】本発明における非線形光学結晶2個を固定治具にて保持し、非線形光学結晶の周囲に温度制御をした媒体を流すことにより、非線形光学結晶の温度を制御する場合の構成図

【図5】非線形光学結晶を1個用いて第二高調波光の発生を行なう場合の従来例の構成図

【符号の説明】

1, 3 非線形光学結晶

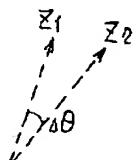
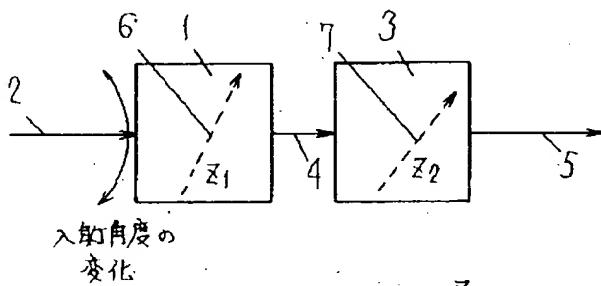
2 レーザビーム

【図1】

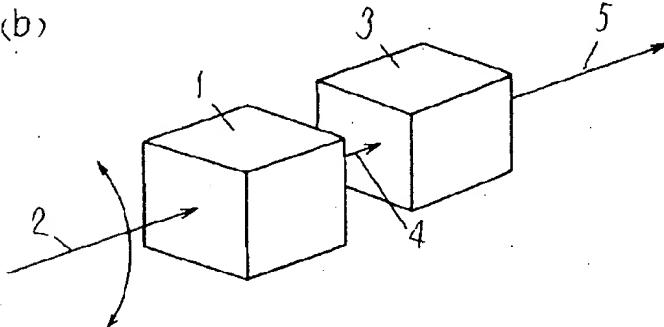
1.3 --- 非線形光学結晶

2 --- レーザビーム

(a)



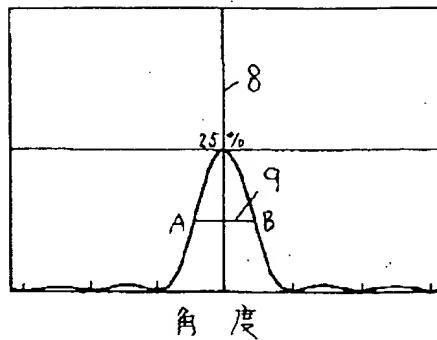
(b)



【図2】

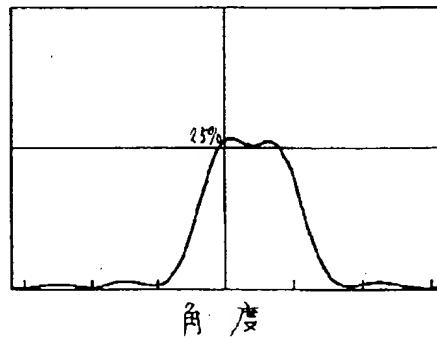
(a)

変換効率



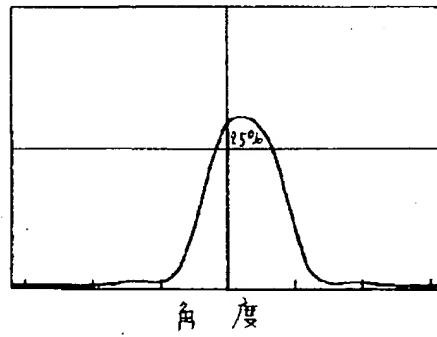
(b)

変換効率



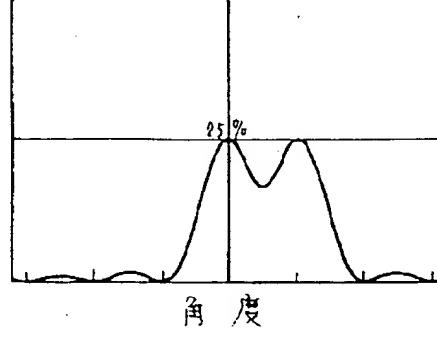
(c)

変換効率

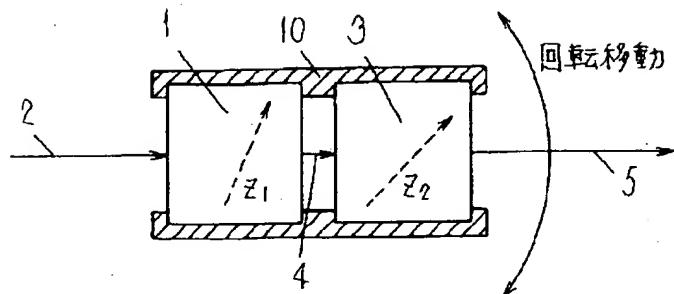


(d)

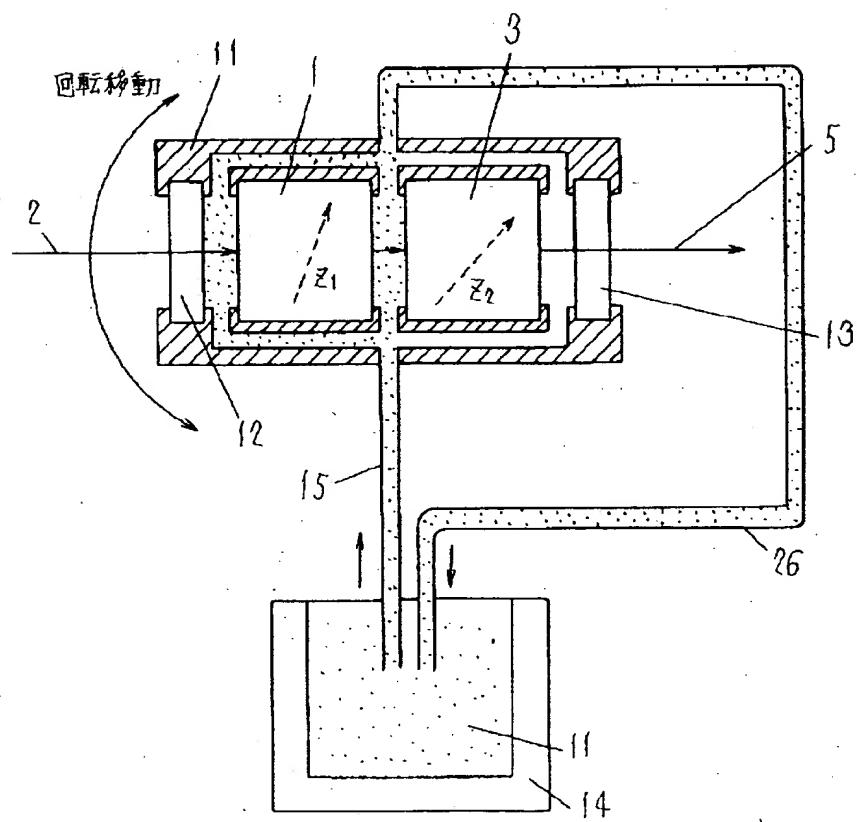
変換効率



【図3】

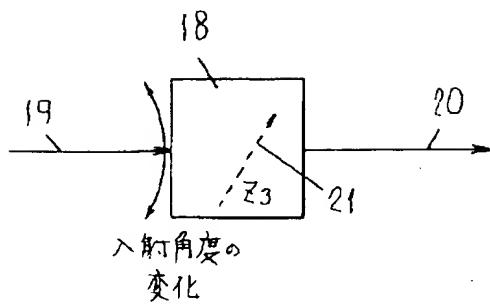


【図4】

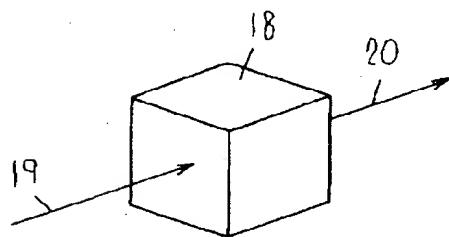


【図5】

(a)



(b)



フロントページの続き

(72)発明者 植杉 雄二

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器

産業株式会社内